

Avaliação de desempenho térmico de edificação com vedações verticais de concreto armado moldado *in loco*

Thermal performance evaluation of building with vertical fences of reinforced concrete cast in loco

Evaluación del rendimiento térmico de los edificios con muros de hormigón armado moldeados in situ

Recebido: 05/07/2022 | Revisado: 15/07/2022 | Aceito: 17/07/2022 | Publicado: 25/07/2022

Gleudson Martins da Costa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8956-6400>

Universidade de Pernambuco, Brasil

E-mail: engcivil.gleudson@gmail.com.br

Stela Fucale

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7536-498X>

Universidade de Pernambuco, Brasil

E-mail: sfucale@poli.br

Resumo

Estudos realizados, na década passada, baseados nos procedimentos de avaliação de desempenho térmico da NBR 15.575/2013, enfatizaram o baixo desempenho de paredes de concreto armado moldado no local em algumas condições climáticas do Brasil. Devido às críticas direcionadas a tais procedimentos, no ano de 2021, uma emenda foi publicada alterando os antigos métodos de avaliação do desempenho térmico de edificações da citada norma, sendo, portanto exigidas as correspondentes atualizações para novos projetos. O artigo tem como objetivo avaliar o desempenho térmico de um projeto de habitação unifamiliar com vedações verticais feitas de concreto armado moldado *in loco*, dentro das condições climáticas do município de Paulo Afonso-BA, tomando-se como base os novos procedimentos da norma de desempenho de edificações. Quanto aos procedimentos metodológicos, utilizou-se o *software EnergyPlus* para realização de simulação computacional de um projeto de habitação unifamiliar, admitindo dois valores de absorptância solar para a cobertura, ou seja, MReal1 com $\alpha = 0,2$ e MReal2 com $\alpha = 0,4$. Os resultados indicaram que o referido sistema construtivo, quando avaliado de maneira isolada pelo método simplificado, não possui transmitância térmica adequada para a localidade, conseqüentemente, a habitação não atinge o desempenho térmico mínimo. O percentual de elementos transparentes e ventilação, presentes no projeto da casa, contribuem para um desempenho térmico mais baixo na sala e quarto 2, visto nos resultados obtidos pelos dois métodos. Todavia, conclui-se com o método de simulação computacional, que um desempenho térmico superior pode ser atingido, alterando a coloração do telhado por uma cor clara.

Palavras-chave: Envoltória da edificação; Habitação unifamiliar; Semiárido.

Abstract

Studies carried out in the last decade, based on the thermal performance evaluation procedures of NBR 15.575/2013, emphasized the low performance of cast-in-place reinforced concrete walls in some climatic conditions in Brazil. Due to the criticism directed at such procedures, in 2021, an amendment was published altering the old methods of evaluating the thermal performance of buildings of the aforementioned standard, therefore requiring the corresponding updates for new projects. The article aims to evaluate the thermal performance of a single-family housing project with vertical fences made of reinforced concrete cast in loco, within the climatic conditions of the municipality of Paulo Afonso-BA, based on the new procedures of the performance standard of buildings. As for the methodological procedures, the EnergyPlus software was used to perform a computer simulation of a single-family housing project, admitting two values of solar absorptance for the roof, that is, MReal1 with $\alpha = 0.2$ and MReal2 with $\alpha = 0.4$. The percentage of transparent elements and ventilation, present in the house design, contribute to a lower thermal performance in the living room and bedroom 2, seen in the results obtained by both methods. However, it is concluded with the computational simulation method, that a superior thermal performance can be achieved by changing the color of the roof to a light color.

Keywords: Building envelope; Single-family housing; Semi-arid.

Resumen

Estudios realizados en la última década, basados en los procedimientos de evaluación del desempeño térmico de la NBR 15.575/2013, destacaron el bajo desempeño de los muros de hormigón armado vaciados in situ en algunas condiciones climáticas en Brasil. Debido a las críticas dirigidas a tales procedimientos, en el año 2021, se publicó una

enmienda que altera los antiguos métodos de evaluación del rendimiento térmico de los edificios de la citada norma, por lo que se requieren las actualizaciones correspondientes para nuevos proyectos. En vista de esta actualización, este trabajo tiene como objetivo evaluar el comportamiento térmico de un proyecto de vivienda unifamiliar con cercos verticales de hormigón armado vaciado *in loco*, en las condiciones climáticas del municipio de Paulo Afonso-BA, basado en los nuevos procedimientos del estándar de desempeño de edificios. En cuanto a los procedimientos metodológicos, se utilizó el software EnergyPlus para realizar una simulación por computadora de un proyecto de vivienda unifamiliar, asumiendo dos valores de absorbancia solar para la cubierta, es decir, MReal1 con $\alpha = 0,2$ y MReal2 con $\alpha = 0,4$. El porcentaje de elementos transparentes y ventilación, presentes en el diseño de la casa, contribuyen a un menor desempeño térmico en la sala y el dormitorio 2, visto en los resultados obtenidos por los dos métodos. Sin embargo, se concluye con el método de simulación computacional, que se puede lograr un rendimiento térmico superior cambiando el color del techo a un color claro.

Palabras clave: Envoltura del edificio; Vivienda unifamiliar; Semi árido.

1. Introdução

O setor da construção civil, assim como os demais, tem buscado novos avanços tecnológicos para beneficiar o seu desenvolvimento. Dessa maneira, sistemas com um maior grau de industrialização ou racionalização têm sido criados e empregados a fim de elevar a produção e reduzir os gastos em obras de construção (Braga, 2018).

Acerca dos sistemas construtivos utilizados no Brasil, Mendes, et al., (2017) observam que, nos últimos anos, ocorreu um aumento no uso de sistemas inovadores, que, sobretudo, passaram a ser aplicados em empreendimentos de interesse social financiados pelo Governo Federal. Apesar desse avanço, os autores também afirmam que o uso desses sistemas ainda é muito focado na obtenção de lucro, em detrimento da qualidade.

Dentre as inovações apresentadas no mercado da construção civil brasileiro, a vedação de parede de concreto armado é um dos sistemas utilizados para ajudar no processo de produção de novos conjuntos habitacionais de interesse social no território nacional (Mendes et al., 2017), cuja norma, que trata sobre a sua execução, foi publicada apenas em 2012, a NBR 16.055. De acordo com o Instituto Brasileiro do Concreto, uma das características mais evidentes desse sistema é a velocidade de execução, que fica mais evidente quando comparado com o sistema convencional de paredes de alvenaria (IBRACON, 2018).

A aplicação de algumas tecnologias, principalmente, aquelas que foram recentemente introduzidas no setor da construção civil, suscita dúvidas sobre a sua qualidade quando avaliadas durante o uso das edificações. Desse modo, estudos desenvolvidos na última década têm destacado questões relacionadas à adequabilidade das paredes de concreto armado em diferentes condições climáticas do Brasil, apontando aspectos negativos sobre o seu comportamento térmico (Oliveira et al., 2015; Moraga, 2017; Carvalho, 2012).

Nesse contexto, a primeira normativa a tratar sobre o desempenho térmico de habitações brasileiras foi publicada apenas em 2005, por meio da NBR 15.220 – Desempenho Térmico de Edificações (ABNT, 2005), tendo como foco as habitações unifamiliares. Diante das indicações estabelecidas nessa norma, algumas pesquisas já advertiam que as paredes de concreto armado moldado *in loco* não atendiam às recomendações das propriedades térmicas mínimas delimitadas para algumas zonas bioclimáticas brasileiras (Santos & Gouveia, 2018).

Tendo em vista que a NBR 15.220/2005 detinha-se a orientar estratégias para a melhoria do desempenho térmico, em 2008, iniciou-se o desenvolvimento de uma nova norma, a NBR 15.575 – Desempenho (ABNT, 2013), com o intuito de estabelecer maneiras de avaliar os subsistemas de uma edificação, a partir de diferentes aspectos, dentre os quais, cita-se o desempenho térmico. Mendes et al. (2017) destacam a importância dessa norma, enfatizando a sua contribuição na avaliação prévia dos sistemas inovadores antes de eles serem empregados pelas construtoras.

A respeito da norma publicada em 2013, ela apresentava três diferentes métodos para a avaliação do desempenho térmico das edificações. A partir desses procedimentos metodológicos, pesquisas também chegaram à conclusão que o sistema de paredes de concreto armado não possuía bom desempenho térmico quando submetido a determinadas condições climáticas,

conforme observado por Sorgato et al. (2014), Sorgato, et al., (2014), Oliveira et al. (2016) e Moraga (2017).

Apesar de a NBR 15.575/2013 ser considerada um avanço para a indústria da construção civil devido às contribuições que trouxe para esse setor, ela sofreu várias críticas por causa da presença de lacunas e inconsistências nos procedimentos de avaliação do desempenho térmico presentes na norma. Nesse sentido, a não consideração da ocupação e ventilação natural dos espaços na modelagem, bem como delimitação de apenas dois dias típicos críticos para determinar o desempenho térmico das edificações para um ano completo fez com que vários pesquisadores expusessem a necessidade de alteração nos procedimentos metodológicos propostos pela norma. Tais críticas podem ser observadas nos trabalhos de Sorgato et al. (2012), Marques e Chvatal (2013), Sorgato, et al., (2014) e Santos e Gouveia (2018).

Diante dessa realidade, em 2021, a emenda nº 1 da NBR 15.575 foi publicada, descrevendo novos procedimentos para avaliação do desempenho térmico das habitações (ABNT, 2021). Tais modificações referem-se tanto ao método simplificado quanto ao método de simulação computacional, vide as lacunas e incoerências da versão original da norma.

Com a publicação dessa nova proposta, destaca-se que novos estudos devem ser realizados para verificar o comportamento dos sistemas construtivos empregados nas construções do Brasil, admitindo as novas recomendações para avaliação do desempenho térmico. Atrelado a esse fato, acrescenta-se que o município de Paulo Afonso-BA tem recebido bastante investimento na área da construção de moradias, notando a utilização do supracitado sistema construtivo nessas edificações. Além disso, percebe-se a carência de estudos que abordem a temática do desempenho térmico em residência de concreto armado moldado *in loco*, tomando como referência as condições climáticas específicas do referido município.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho térmico de um projeto de habitação unifamiliar com vedações verticais feitas de concreto armado moldado *in loco*, dentro do clima do município de Paulo Afonso-BA. Busca-se a partir dessa avaliação verificar qual o nível de desempenho térmico que uma edificação com tais características pode atingir.

2. Referencial Teórico

2.1 Novos métodos de avaliação do desempenho térmico da NBR 15.575/2021

O novo texto sobre avaliação do desempenho térmico de edificações da NBR 15.575 foi publicado em 30 de março de 2021, fazendo alterações nos procedimentos de avaliação, passando a valer para projetos protocolados após 180 dias dessa data de publicação. A emenda nº 1 manteve a classificação do desempenho térmico das edificações em três níveis, mínimo (M), intermediário (I) e superior (S), sendo obrigatório que as edificações atendam aos requisitos e critérios para o desempenho mínimo. Segundo a norma, a avaliação do desempenho pode ser feita a partir de dois procedimentos, simplificado e de simulação computacional, não havendo mais referência ao método de medição *in loco*.

O procedimento simplificado ocorre por meio da comparação das características geométricas dos ambientes de permanência prolongada (APP) e das propriedades térmicas dos sistemas construtivos em relação aos valores de referência, ou seja, valores que são recomendados para a edificação conforme a zona bioclimática (ZB) em que ela está/estará situada. A inovação nesse método, em relação ao texto publicado no ano 2013, está na inserção de critérios para a área de superfície de elementos transparentes nos APP, tomando como base a área do piso de cada um desses espaços.

Caso a edificação avaliada não atenda a algum dos critérios do procedimento simplificado, através de um ou mais APP, ela deverá, então, ser avaliada pelo procedimento de simulação computacional. De modo similar ao texto antigo, enquanto o procedimento simplificado pode ser utilizado para verificar apenas o atendimento do nível mínimo (obrigatório), o atendimento dos níveis intermediário e superior só pode ser verificado por meio do procedimento de simulação computacional.

Por sua vez, o procedimento de simulação computacional pode ser aplicado para avaliar o atendimento aos três níveis de desempenho térmico. A norma indica que o software utilizado para a realização da simulação computacional atenda a

determinados critério, sendo o *EnergyPlus* a ferramenta mais utilizada nesse tipo de estudo (Pereira, 2009).

De acordo ainda com a emenda nº 1 da NBR 15.575 (ABNT, 2021), o software para avaliação do desempenho deverá atender a determinados critérios, dentre os quais se destacam: ser capaz de estimar as variações da temperatura operativa, das cargas térmicas de refrigeração e de aquecimento e o uso da ventilação natural na UH (unidade habitacional), separadamente para as 8.760 horas ao longo do ano, levando em conta as variações horárias de ocupação, de potência de iluminação e de equipamentos; estar de acordo com a ASHRAE 140 (2014); permitir modelar os efeitos de inércia térmica, as trocas de calor entre a edificação e o solo; calcular cargas térmicas latente e sensível; ter a capacidade de simular o efeito do sombreamento de elementos externos às zonas térmicas; e ter a capacidade de simular os efeitos da ventilação cruzada entre os ambientes.

No procedimento simplificado, os aspectos que são avaliados são a transmitância térmica (U_{par}), a capacidade térmica (CT_{par}), o percentual de abertura para ventilação ($P_{v,APP}$), o percentual de elementos transparentes ($P_{t,APP}$) e a área de superfície dos elementos transparentes ($A_{t,APP}$), para os sistemas de vedações verticais externas (SVVE), comparando os valores adotados para edificação avaliada com critérios de referência para esses parâmetros que são estabelecidos pela norma. Para as coberturas, avalia-se a transmitância térmica (U_{cob}), também por meio da comparação com valores normativos. Na avaliação de ambos os sistemas de vedação, para a determinação dos valores de referência das variáveis acima, recomenda-se considerar o zoneamento bioclimático brasileiro, especificado na NBR 15.220-3 (ABNT, 2005).

No procedimento de simulação computacional, para avaliar o desempenho de uma edificação, deve ser feita a modelagem de dois modelos (referência e real) com o intuito de realizar a comparação do desempenho térmico da envoltória entre eles. Para verificar o atendimento ao nível mínimo, considera-se que as edificações estão apenas ventiladas naturalmente. Por sua vez, para verificar o atendimento aos níveis intermediário e superior, as edificações devem ser simuladas considerando o uso dos ambientes de permanência prolongada (APP) das habitações tanto na condição de ventilação natural quanto sem ventilação natural, utilizando um sistema de refrigeração/aquecimento ideal, ou seja, que opere sem perdas de energia na retirada do calor do APP.

Na primeira simulação, para verificar o atendimento ao nível mínimo, é necessário determinar o percentual de horas de ocupação dos APPs que está dentro de uma faixa de temperatura operativa ($PHFT_{APP}$) e as temperaturas operativas máxima ($T_{omáx,UH}$) e mínima ($T_{omín,UH}$), esta última apenas para edificações localizadas nas zonas bioclimáticas 1 a 4, ou seja, localizada em regiões de clima mais frio no Brasil. Para atender os níveis médio e superior, o modelo real deve observar os critérios do desempenho mínimo, considerando incrementos tanto no $PHFT_{UH}$ quanto na redução da carga térmica total (RedCgTT).

3. Metodologia

Para caracterizar o tipo da pesquisa, utilizam-se as definições apresentadas por Lakatos e Marconi (2003); Gil (2002) e Fonseca (2002). O trabalho é caracterizado como uma pesquisa aplicada, visto que os conceitos sobre conforto e desempenho térmico são utilizados para compreender a relação entre os materiais e a variação de temperatura e a adequabilidade dos espaços construídos. No que se refere ao procedimento, tem-se um estudo de caso, pois se detém a observar uma realidade específica. Isto é, o comportamento térmico de um projeto de uma modelo de habitação de interesse social que deverá ser construído dentro das condições climáticas de Paulo Afonso-BA.

O desenvolvimento deste estudo esteve organizado em quatro etapas. Na primeira fase, foi definida a tipologia da edificação que foi avaliada. Nesse caso, trata-se de uma habitação unifamiliar constituída de paredes de concreto armado moldado no local. Na segunda etapa, foi feita a avaliação da edificação quanto ao desempenho térmico através do método simplificado. Para tanto, tomou-se como referência o texto da emenda nº 1 da NBR 15.575/2021, a fim de verificar se a edificação estudada atende ao desempenho térmico mínimo, de caráter obrigatório, fazendo a comparação das características dos modelos do edifício com os valores de referência normativos.

Na terceira etapa, foi realizada a avaliação pelo método da simulação computacional com o intuito de verificar se os outros níveis de desempenho térmico também seriam atingidos pela unidade habitacional unifamiliar avaliada tendo em vista as configurações determinada pelo projeto. Na última etapa, realizou-se a análise e discussão dos resultados, apresentados na seção seguinte.

Para a simulação foi utilizado o software *EnergyPlus*, versão 9.3, ferramenta responsável por calcular as temperaturas operativas internas e cargas térmicas, admitindo trocas de calor que ocorrem na modelagem da edificação. Na simulação da edificação, foi utilizado o arquivo climático do tipo TMY (*Typical Meteorological Year*), conforme sugere a norma (ABNT, 2021), com dados climáticos horários referentes à cidade de Paulo Afonso (ZB-7), obtidos a partir de Crawley e Lawrie (2022).

3.1 Características de Paulo Afonso-BA

Paulo Afonso é um município localizado no nordeste do estado da Bahia, na mesorregião do Vale do São Francisco, que possui como bioma principal a Caatinga (Parahyba et al., 2004), característico de regiões de clima quente e seco. Pela sistemática de Köppen, no município, prevalece o tipo climático BWh, ou seja, clima árido (SEPLAN-BA, 1998). De acordo com as normais climatológicas, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), referente ao município de Paulo Afonso, a temperatura média anual do município é de 26,2 °C, com média anual máxima e mínima de 32,2 °C e 21,7 °C, respectivamente, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 – Normais Climatológicas de Paulo Afonso entre 1981 – 2010

Variável	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Máx. Abs. (°C)	39,2	38,6	38,5	37,2	36,8	33,6	33,8	34,5	37,3	38,9	39,1	38,7	39,2
Máx. Méd. (°C)	34,4	34,3	33,7	32,5	30,7	28,5	27,9	29,1	31,7	33,8	34,68	34,6	32,2
Méd. Comp. (°C)	28,0	28,0	27,8	26,9	25,5	23,7	22,9	23,3	25,1	26,8	27,8	28,0	26,2
Mín. Méd. (°C)	23,1	23,2	23,3	22,8	21,9	20,5	19,5	19,4	20,3	21,6	22,5	22,8	21,7
Mín. Abs. (°C)	19,6	20,4	19,2	19,0	18,8	16,3	14,6	15	12,4	18,2	19,5	19,0	12,4
UR(%)	58,7	59,6	63,2	67,7	73,4	78,7	77,7	72,7	63,6	58,9	56,1	57,1	65,6
Precip. (mm)	49,2	38,3	76,8	75,3	54,2	62,6	49,3	29,0	11,7	17,1	19,5	30,0	513,0
Insola. (hrs)	256,0	232,2	236,3	222,6	195,3	151,5	167,9	194,0	236,6	271,7	273,7	267,0	2704,8

Fonte: INMET (2022).

As temperaturas mais baixas ocorrem no meio do ano, período de inverno, momento no qual se percebe um aumento na umidade relativa do ar na região. Inclusive, nesse período, a umidade relativa do ar na região tende a ultrapassar a média anual de 65,6%, especialmente, entre os meses de abril e agosto. Os maiores níveis de precipitações ocorrem, sobretudo, no intervalo que vai de janeiro a junho, com valores que variam de 49,2 a 76,8 mm por mês, ou seja, um baixo nível pluviométrico.

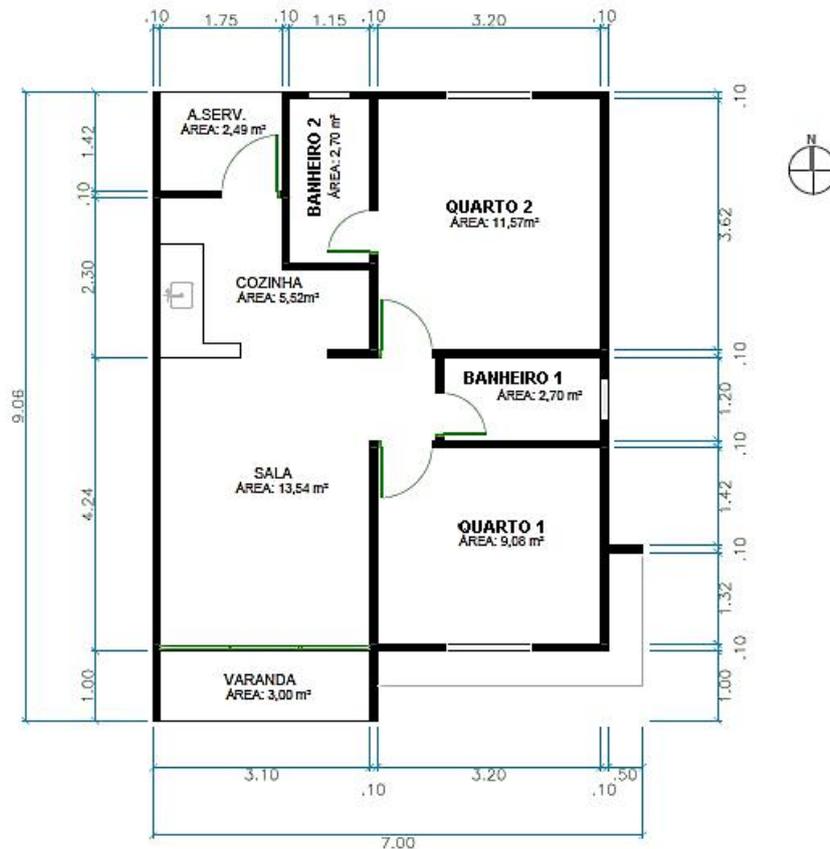
3.2 Características do objeto de estudo

O estudo de caso consiste em um projeto de uma residência unifamiliar pertencente ao Programa Casa Verde Amarela, com área de aproximadamente 47,74 m², distribuída em seis ambientes, conforme ilustrado na Figura 1. De acordo com o projeto aprovado na prefeitura, a cobertura da edificação será constituída de telha de fibrocimento, com forro de gesso, e as paredes adotadas pelos projetistas terão espessuras de 10 cm, na cor branca, Figura 2.

A partir dessas informações, foram obtidas as propriedades térmicas dos materiais empregados na simulação

computacional, com base em Morishita et al. (2011) Weber et al. (2017). Isto é, para cobertura tem-se a transmitância térmica (U) igual a 1,95 W/(m²K), capacidade térmica (CT) igual a 32 kJ/m², fator de calor solar (FCS) de 3,1 e emissividade de onda longa igual a 0,9. Neste trabalho, foram avaliados dois modelos que diferem entre si no valor adotado para absorvância (α) da cobertura. O primeiro representa o telhado pintado na cor branco ($\alpha = 0,2$), denominado MReal1, e o segundo retrata a cor natural da telha quando nova ($\alpha = 0,4$), chamado por MReal2. Desta forma, foi possível verificar o impacto dessa alteração no projeto no desempenho térmico da unidade. Para as vedações verticais de ambos os modelos, tem-se transmitância térmica de 4,40 W/(m²K), capacidade térmica (CT) igual a 240 kJ/m²K, absorvância solar (α) de 0,2, fator de calor solar (FS) de 3,5 e emissividade de onda longa igual a 0,9.

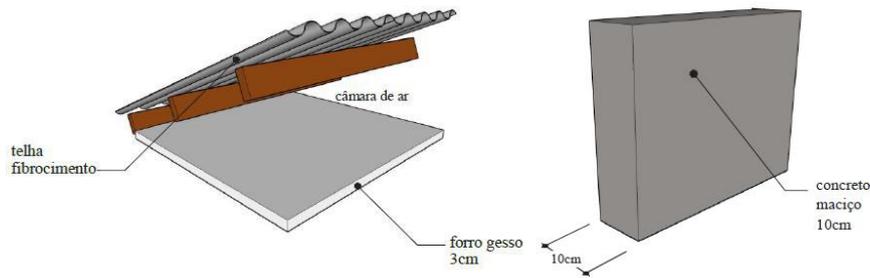
Figura 1 – Planta baixa da habitação avaliada.



Fonte: Autores.

Conforme Figura 1, a fachada principal da edificação está posicionada em direção ao Sul. Os ambientes de permanência prolongada (APPs), sala, quarto 1 e quarto 2, são os espaços avaliados na simulação computacional. Na Figura 2, estão os sistemas construtivos utilizados para a envoltória da edificação.

Figura 2 – Modelo da cobertura e paredes do projeto avaliado.



Fonte: Morishita et al., (2011).

As janelas adotadas para os quartos da habitação em estudo possuem 1,20 x 1,20 m e são de correr com folha dupla e peitoril a 1,00 m do piso, possuindo, assim, uma abertura para ventilação de 50% (Lamberts et al., 2014). As janelas adotadas para os banheiros são do tipo maxim ar, com dimensão 0,60 x 0,60 m, peitoril de 1,60 m e configuração de abertura para ventilação de 50% (Lamberts et al., 2014). A porta de entrada principal da sala é completamente de vidro com área de 7,20 m². Na simulação computacional, admitiu-se que a porta da sala permanecerá constantemente fechada.

Em todos os ambientes de permanência prologada, os elementos transparentes são constituídos de vidro comum com transmitância térmica de 5,7 W/m².K, fator solar (FS) igual a 0,87 e espessura de 6 mm. As portas dos ambientes internos e cozinha foram consideradas de madeira com valores de propriedades térmicas iguais ao do modelo de referência, assim como os caixilhos das janelas e a configuração do piso (ABNT, 2021).

3.3 Avaliação do desempenho térmico

A edificação foi analisada com base no procedimento simplificado, comparando as propriedades térmicas e físicas do projeto da edificação com valores de referência, e no procedimento de simulação computacional, presentes na NBR 15.575/2021. Na Figura 3, é possível verificar os passos que foram contemplados para avaliação e determinação do desempenho térmico, pelo método de simulação computacional, do projeto de habitação que será construído no município de Paulo Afonso - BA.

Figura 3 – Processo para determinação do nível de desempenho térmico do modelo avaliado.

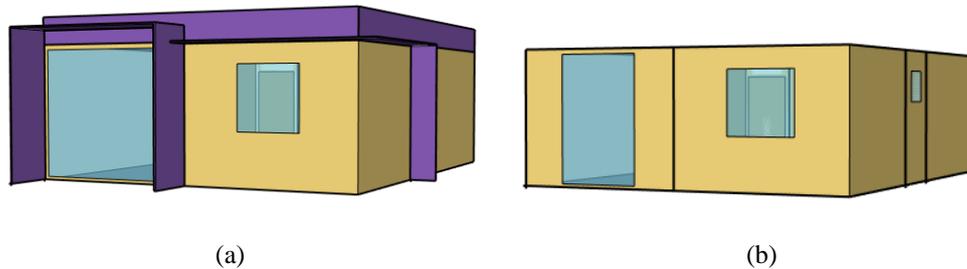
Parâmetro	Desempenho térmico mínimo	Desempenho térmico intermediário	Desempenho térmico Superior
Temperatura operativa anual máxima (Tomáx)	Menor que a referência + tolerância	Atendimento ao nível mínimo	Atendimento ao nível intermediário
Percentual de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura (PFHT)	Maior que 90% do valor de referência	Aumento no PFHT em comparação ao nível mínimo	Aumento no PFHT em comparação ao nível intermediário
Carga térmica total (CgTT)	-	CgTT do modelo inferior ao referencial	Ampliação da redução da CgTT em comparação ao nível intermediário

Fonte: Autores.

Como salientado anteriormente, para aplicar o referido método, é necessário simular, pelo menos, dois modelos (o de referência e o avaliado), que serão comparados nos processos de avaliação (Figura 4). Nos modelos MReal1 e MReal2, foram mantidas as características volumétrica, os percentuais de elementos transparentes e de aberturas para ventilação, as propriedades térmicas dos sistemas construtivos e a presença de elementos de sombreamento externos fixos, conforme descrito na subseção anterior. No modelo de referência (MRef), a volumetria corresponde à mesma do modelo real, retirando os

elementos de proteção solar, como recomenda a norma. Já os percentuais de elementos transparentes e aberturas para ventilação e as propriedades térmicas foram alterados para os valores estabelecidos pelo novo procedimento da NBR 15.575-1/2021 para configuração do modelo de referência (ABNT, 2021).

Figura 4 – Perspectivas do modelo de simulação da casa: (a) modelo real 1 e 2 (b) modelo de referência.



Fonte: Autores.

O novo texto da norma sugere a consideração da ventilação natural e a existência de cargas térmicas internas em determinados horários dos dias. Segundo a emenda nº 1 da NBR 15.575, a modelagem da ocupação e das cargas térmicas deve ser realizada de maneira similar para todos os modelos (ABNT, 2021). Nesse contexto, o padrão de ocupação dos ambientes de permanência prolongada (APPs), o calor dissipado por pessoa e a fração radiante foram considerados os mesmos para todos os dias do ano em ambos os modelos. Além disso, o padrão de utilização dos equipamentos, de aberturas das janelas (com seus respectivos parâmetros) e das propriedades térmicas do MRef seguiu à orientação da norma.

4. Resultados e Discussão

4.1 Avaliação do desempenho térmico pelo procedimento simplificado

Primeiramente, foi realizada a análise do sistema de vedações verticais externas e, posteriormente, a análise da cobertura, considerando-se as propriedades térmicas recomendadas pela emenda nº 1 da NBR 15.575/2021, ou seja, a transmitância térmica (U) e a capacidade térmica (CT) das paredes. A edificação estudada, quando construída, terá na composição das paredes externas um único material (concreto armado moldado *in loco*), uma única cor (branca) na pintura e um único tipo de revestimento. A comparação dos valores sobre as propriedades térmicas da parede estão presentes na Tabela 2.

Tabela 2 – Análise das propriedades térmicas do SVVE pelo método simplificado.

Critério	MReal	Atendimento
$U_{par} \leq 3,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	$U = 4,40 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	Não satisfaz
$CT_{par} \geq 130 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{K}$	$CT = 240 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{K}$	Satisfaz

Fonte: Autores.

O valor da transmitância térmica da parede do MReal (nomenclatura usada para se referir simultaneamente aos modelos MReal1 e MReal 2), igual a $4,40 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, é superior ao limite de referência, correspondente a $3,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, não atendendo ao primeiro critério. Enquanto isso, a capacidade térmica da parede de concreto armado moldado *in loco* está dentro do intervalo de referência estabelecido para a zona bioclimática 7. De antemão, destaca-se que, segundo a norma, quando um critério não é atendido no método simplificado, é necessário realizar a avaliação global a partir da aplicação método de simulação computacional.

Continuando a avaliação pelo método simplificado, o percentual de abertura é o segundo critério indicado para

avaliação no texto normativo atual. Para o atendimento do desempenho térmico mínimo, a NBR 15.575 (ABNT, 2021) estabelece que o percentual de abertura para ventilação seja igual ou superior a 7% em relação à área do piso do ambiente de permanência prolongada (Tabela 3).

Tabela 3 – Análise do atendimento do percentual de área de ventilação nos APP pelo método simplificado.

Critério	MReal	Atendimento
$P_{v,APP} \geq 7,0\% \text{ do } A_{p,APP}$	$P_{v,quarto1} = 7,93\%$	Satisfaz
	$P_{v,quarto2} = 6,22\%$	Não satisfaz
	$P_{v,sala/coz} = 0,0\%$	Não satisfaz

$P_{v,APP}$ = é o percentual de abertura para ventilação do APP, expresso em porcentagem (%).
 $A_{v,APP}$ = é a área efetiva de abertura para ventilação do APP, expressa em metros quadrados (m²);
 $A_{p,APP}$ = área disponível para ocupação medida entre os limites internos das paredes que delimitam o APP.

Fonte: Autores.

Cada quarto possui uma janela de correr, cuja área de ventilação corresponde a apenas 50% de sua superfície da esquadria. O APP sala não possui janelas e foi admitido, tanto no método simplificado quanto de simulação computacional, que a porta permanecerá sempre fechada. Assim sendo, dentre os ambientes avaliados na edificação, o quarto 1 é o único que tem um percentual superior ao intervalo de referência, satisfazendo, dessa forma, o critério da norma. Tal fato pode influenciar também nas temperaturas operativas que são constatadas nesse ambiente visto que a ventilação natural tem um importante papel na remoção do calor do espaço quando a temperatura deste é superior ao do ambiente externo.

O último requisito a ser observado para o SVVE é a proporção de elementos transparentes. Esse critério poderá variar a depender da latitude em que se encontra a edificação, da adoção de vidros de alto desempenho e/ou do uso de elementos de sombreamento horizontais nas aberturas.

A edificação avaliada será construída na cidade de Paulo Afonso-BA, a uma latitude superior a -15° Sul, e não possuirá vidros de alto desempenho. Ela terá elementos de proteção horizontal na fachada principal, com configuração especificada no projeto. Verificou-se que o ângulo vertical de sombreamento formado entre a extremidade do elemento horizontal e a base da porta de vidro é de 19°, e o ângulo formado entre o elemento de proteção solar horizontal situado ao longo do quarto 1 e a base da janela desse ambiente é igual a 17°. Ressalta-se, novamente, que a janela do quarto 2 não possuirá nem um tipo de elemento de proteção solar.

Com a determinação desses ângulos, observou-se que eles não correspondem aos valores tabelados na norma, utilizados para delimitar o percentual de elementos transparentes em função do ângulo vertical de sombreamento. Nesse contexto, os limites de referência para área dos elementos transparentes devem estar dentro do intervalo estabelecido para a situação em que não é considerada a presença dos protetores solares. Os resultados da análise estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Análise do atendimento à proporção de referência dos elementos transparente nos APP.

Área do ambiente	Critério	MReal	Atendimento
$A_{quarto1} = 9,08 \text{ m}^2$	$P_{t,APP} \leq 20\%$	$P_{t,quarto1} = 15,85\%$	Satisfaz
$A_{quarto2} = 11,57 \text{ m}^2$	$P_{t,APP} \leq 20\%$	$P_{t,quarto2} = 12,45\%$	Satisfaz
$A_{sala/coz} = 19,20 \text{ m}^2$	$P_{t,APP} \leq 20\%$	$P_{t,sala/coz} = 37,5\%$	Não satisfaz

$P_{t,APP}$ = Percentual de elementos transparentes;

Fonte: Autores.

A partir da comparação dos valores adotados no MReal com os valores de referência, notou-se que os quartos possuem uma porcentagem de elementos transparentes adequada diante do que está prescrito na norma, pois é estabelecido que

para os ambientes de permanência prolongada com área inferior ou igual a 20,0 m² o P_{t,APP} seja inferior ou igual a 20%. Tal diretriz não foi atendida para o ambiente sala/cozinha, cuja área de elementos transparentes é de aproximadamente o dobro do que permite a norma. Tal fato deve contribuir, negativamente, nas temperaturas operativas obtidas para esse ambiente, bem como para o consumo de energia da edificação quando for simulada na condição sem ventilação natural.

Analisado os aspectos sobre o SVVE, verificou-se o atendimento do desempenho térmico mínimo pela cobertura da edificação através do método simplificado, presente na parte 5 da emenda n° 1 da NBR 15.575 (ABNT, 2021). O único critério que deve ser averiguado para esse sistema de vedação é o valor da transmitância térmica, que dependerá do valor da absorvância do telhado e da zona bioclimática em que se encontra a edificação.

O sistema de coberta do projeto real (MReal 1 e MReal2) será de telha de fibrocimento com forro de gesso, possuindo uma câmara de ar maior do que 5 cm e absorvância solar, em ambos os caso, como $\alpha \leq 0,4$. Para essa configuração, a transmitância térmica (U) da cobertura corresponde a 1,95 W/(m².K). O valor de referência deverá ser multiplicado ainda por um fator de correção, quando o ático é ventilado, o que não corresponde ao presente caso (Tabela 5).

Tabela 5 – Análise das propriedades térmicas da cobertura

Critério	MReal	Atendimento
$U_{cob} \leq 2,3 \cdot FT \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$	$U = 1,95 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$	Satisfaz
Dados: FT = 1,17 - 1,07 · h^{-1,04}, sendo FT = 1 para ático não ventilado.		

Fonte: Autores.

Para uma edificação construída na ZB-7, cuja absorvância solar da cobertura é igual ou inferior a 0,4, a cobertura deverá ter um valor de U inferior ou igual a 2,3 W/(m².K). Dessa maneira, a tipologia de cobertura adotada no projeto analisado (MReal) satisfaz ao intervalo de referência. Por meio do método de simulação computacional, foi possível observar o impacto da mudança na absorvância sobre o desempenho térmico da edificação.

A partir das comparações, afirma-se que as paredes de concreto armado moldado *in loco*, assim como já foi observado por Oliveira *et al.* (2015), possuem valor de transmitância térmica alto quando comparado ao limite preestabelecido por norma. Para reduzir esse valor, a opção seria a adoção da parede de concreto armado moldado no local combinada com camadas de materiais isolantes, para aumentar a resistência térmica do sistema (Oliveira et al., 2015), ou adotar paredes com propriedades diferentes. Batista (2020) explica que o uso de materiais isolantes nem sempre é viável devido ao custo. Em vista disso, em algumas situações, o melhor pode ser utilizar outro tipo de sistema construtivo para o sistema de vedações verticais que, por sua vez, seja mais barato, porém que não implique na redução do desempenho térmico da habitação.

Sobre as aberturas, o percentual de área de ventilação do quarto 2 e sala é inferior a 7%, exigindo soluções para adequar ao recomendado pela norma de desempenho. Nesse contexto, é possível adaptar a tipologia das esquadrais desses APPs, adotando modelos que permitam uma área maior para ventilação, atingindo o percentual a depender da área do piso do ambiente.

A porta de entrada principal deve impactar significativamente nos ganhos de calor por causa da sua grande área envidraçada. Assim, para que seja atendido o critério mínimo referente ao percentual de elementos transparentes, na avaliação pelo método simplificado, é necessário optar por outro tipo de porta. Uma opção seria instalar uma janela de vidro, com área condizente aos limites da norma, e uma porta opaca para reduzir a proporção de área transparente do APP sala/cozinha.

Apesar de alguns ambientes da edificação no MReal terem atendido aos critérios estabelecidos para o desempenho térmico mínimo, segundo o método simplificado da NBR 15.575 (ABNT, 2021), a não observância ao primeiro critério, transmitância térmica do SVVE, já indicaria a necessidade de fazer a análise do objeto de estudo pelo método de simulação computacional para que seja possível verificar o comportamento global da edificação. Tal fato corrobora com o que foi

observado por Oliveira e Alves (2021) em pesquisa desenvolvida, aplicando o método simplificado antigo da norma, em uma edificação com o mesmo tipo de sistema construtivo.

4.2 Avaliação do desempenho térmico pelo procedimento de simulação computacional

A distribuição da quantidade de horas, para os diferentes intervalos de temperatura operativa, calculada para os APPs nos três modelos simulados, bem como a temperatura operativa média para os respectivos ambientes estão indicadas na Tabela 6, onde os dados representam as temperaturas ao longo das 8.760 horas do ano.

Acerca das médias das temperaturas, constatou-se que o modelo de referência tem os maiores valores, sendo o quarto 2 o ambiente com a maior temperatura operativa média entre os modelos. É importante destacar que esse ambiente encontra-se voltado para o norte e recebe a radiação solar direta nos períodos de inverno, ou seja, quando as temperaturas externas são mais amenas. Todavia, como observado na aplicação do procedimento simplificado, esse ambiente não possui um percentual de área de ventilação adequado e não tem dispositivos de sombreamento que impeçam a entrada da radiação solar direta pela esquadria, diferentemente da janela do quarto 1. Tais aspectos devem impactar nas constatações das altas temperaturas calculadas para esse espaço.

Tabela 6 – Distribuição do número de horas em intervalos de temperatura.

Ambiente	T < 20	20 - 22	22 - 24	24 - 26	26 - 28	28 - 30	30 - 32	32 - 34	34 - 36	36 - 38	38 - 40	T ≥ 40	Média (°C)
MRef													
Sala	0	23	185	613	1261	1805	1741	1174	881	693	357	27	30,9
Quarto 1	0	58	269	771	1456	1827	1627	1061	901	649	137	4	30,3
Quarto 2	0	8	113	456	1158	1781	1884	1460	1163	682	55	0	31,0
MReal1													
Sala	25	248	718	1750	2286	1728	1224	752	29	0	0	0	27,6
Quarto 1	31	269	785	1905	2321	1698	1293	448	10	0	0	0	27,3
Quarto 2	7	182	609	1647	2446	1985	1371	505	8	0	0	0	27,6
MReal2													
Sala	14	205	581	1451	2082	1759	1266	1025	368	9	0	0,0	28,3
Quarto 1	26	228	633	1600	2117	1757	1241	1038	120	0	0	0,0	28,0
Quarto 2	4	137	489	1372	2123	1978	1416	1065	176	0	0	0,0	28,4
Temperatura de bulbo seco													
Externa	450	630	1490	1659	1361	1084	785	645	463	173	16	4,0	26,7

Fonte: Autores.

A sala foi o segundo ambiente com temperatura operativa média mais elevada. Lembrando-se que esse APP também não atendeu a critério do percentual de área com elementos transparentes, o que implica em ganhos térmicos devido à incidência da radiação solar direta durante o verão, bem como o percentual de área para ventilação.

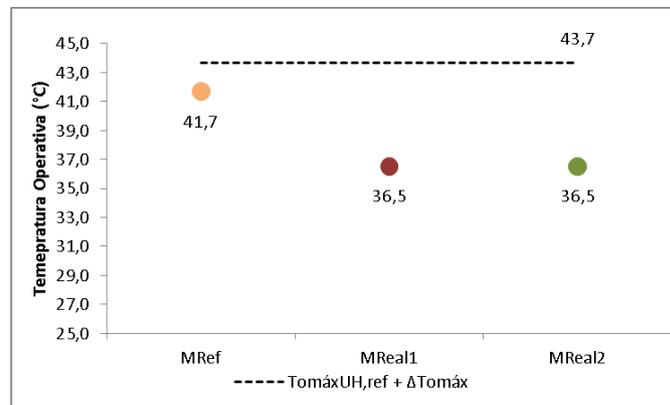
Além disso, as temperaturas operativas médias do MRef foram superiores ao do MReal1 e MReal2, em pelo menos 2,0 °C. Em ambos os modelos avaliados (MReal 1 e MReal 2), esses valores superaram a temperatura de bulbo seco média, observada no exterior da edificação, em pelo menos 1,0 °C, o que indica que as temperaturas interna, de modo geral, irão superar as temperaturas do ambiente externo. O quarto 1 foi o ambiente que obteve menor temperatura operativa média. E, percebe-se que o MReal 1 possui uma maior frequência de temperaturas mais baixas, reflexo do valor de absorvância adotado para o seu telhado.

a) Simulação considerando a ventilação natural:

O primeiro critério analisado com a aplicação do segundo procedimento foi a temperatura operativa máximo, dado obtido a partir da simulação computacional dos dois modelos. Para atingir o desempenho térmico mínimo, a temperatura operativa máxima do modelo avaliado deve ser menor ou igual a temperatura operativa máxima observada no modelo de referência, adicionando um incremento ($Tomáx_{UH,real} \leq Tomáx_{UH,ref} + \Delta Tomáx$). Esse incremento na temperatura operativa, feito sobre o resultado do modelo de referência, é igual a 2 °C tendo em vista que o presente estudo de caso trata-se de uma habitação unifamiliar. Como a residência será construída dentro da ZB-7, a norma afirma não é necessário verificar o $Tomín_{UH}$.

A Figura 5 apresenta a temperatura operativa máxima encontrada no modelo de referência e nos modelos avaliados (MReal1 e MReal2) e a temperatura operativa limite que o projeto deve atender para cumprir ao primeiro critério de avaliação do desempenho térmico mínimo.

Figura 5 – Temperatura operativa máxima atingida nos modelos.



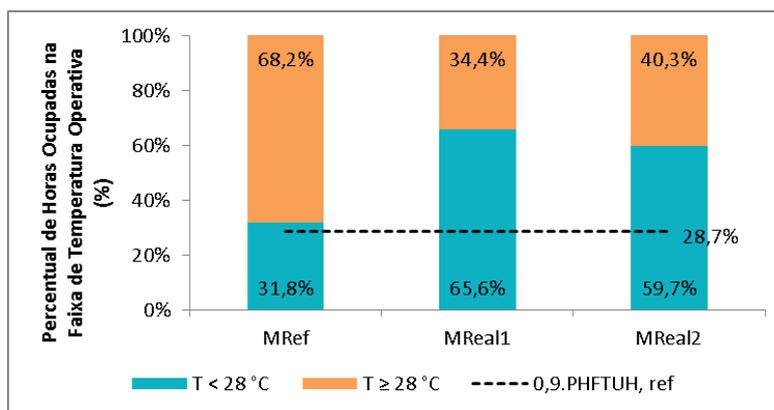
Fonte: Autores.

Como pode ser observado, a $Tomáx_{UH,ref}$ foi de 41,7 °C, constatada na sala da UH (unidade habitacional). Enquanto isso, a $Tomáx_{UH}$, nos modelos avaliados, foi de 36,5 °C para ambos, indicando um desempenho semelhantes. Nesse sentido, percebe-se que eles atendem ao critério da temperatura operativa máxima da UH, sem mesmo a necessidade de considerar o incremento ($\Delta Tomáx$) de 2 °C sobre o modelo de referência. Acrescenta-se que essa temperatura máxima do modelo real foi observada na sala, corroborando com os resultados apresentadas anteriormente.

Para avaliar o desempenho térmico da envoltória da unidade habitacional conforme os critérios preestabelecidos pela NBR 15.575/2021, é necessário determinar também o intervalo de temperaturas externas que servirá como referência para a análise das temperaturas nos APPs. Esse intervalo é identificado por meio da média anual da temperatura externa de bulbo seco (TBSm) do arquivo climático utilizado na simulação. Para o presente caso, o TBSm calculado foi de 26,7 °C (Tabela 6), que corresponde ao intervalo 2 de temperaturas externas preestabelecido pela norma.

A faixa de temperatura indicada pelo intervalo 2 corresponde à $To_{APP} < 28,0$ °C, que deve ser considerada como referência de faixa de temperatura ideal para contabilizar o percentual de horas em que cada APP estará dentro desse intervalo apenas quando se encontrarem ocupados. Para que as UH avaliada atenda a esse critério, o seu PHFT deve ser superior a 90% do PHFT do modelo de referência. Na Figura 6, é possível observar os resultados para esse critério.

Figura 6 – Atendimento ao critério do PHFT.



Fonte: Autores.

Observa-se que o $PHFT_{UH,ref}$ foi de cerca de 32%. Consequentemente, fica estabelecido que o limite de referência que deve ser utilizado para avaliar o modelo é de 29% de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa. Ou seja, para que a UH avaliada atenda a esse critério, o seu PHFT deve ser superior a 90% do PHFT do modelo de referência.

O modelo avaliado MReal1 obteve um percentual de 65,6% dentro do intervalo de temperatura indicado pela norma; enquanto isso, o MReal ficou com 59,7%. Uma redução de aproximada 6% provocada pelo aumento da absorvância do telhado de 0,2 para 0,4. Diante do exposto, afirma-se que os modelos avaliados quanto possuem PHFT superior ao de referência, satisfazendo, assim, ao segundo critério avaliado. Com isso, fica estabelecido que o desempenho térmico mínimo foi atingido pela projeto estudado, tendo o MReal (telhado pintado de branco) um melhor resultado. Nota-se também que o incremento no percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa do modelo real 1 em relação ao de referência ($\Delta PHFT$) é igual a 33,8% e em relação ao modelo 2 corresponde a 27,9%. Esse último dado será utilizado para avaliação apresentada na subseção seguinte.

Analisando individualmente os APPs, notou-se que o quarto 1 é o que tem um maior percentual do horas ocupadas com temperatura inferior a 28,0 °C, ultrapassando 85,0% das horas das horas ocupadas. Tal fato é reflexo das propriedades do referido espaço, que estão de acordo com as indicações da norma como destacado na aplicação do método simplificado.

b) Simulação sem considerar a ventilação natural:

A avaliação do modelo, no que concerne aos critérios estabelecidos para o atendimento do desempenho térmico intermediário e superior, é apresentada. Ressalta-se que a análise para esses dois níveis pode ser feita somente quando o desempenho térmico anterior for atingido.

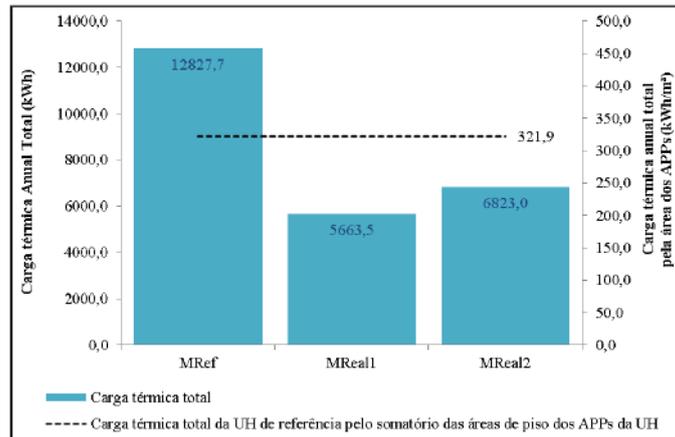
Para satisfazer a esses níveis, é averiguada a capacidade do modelo avaliado de atingir incrementos no percentual de horas dentro de uma faixa de temperatura operativa ($\Delta PHFT$) e reduzir a demanda de carga térmica total ($RedCgTT$) do modelo avaliado em relação ao modelo de referência, que, posteriormente, devem ser comparados com valores mínimos ($\Delta PHFT_{min}$ e $RedCgTT_{min}$). O primeiro critério já foi calculado na simulação dos modelos na condição considerando a ventilação natural.

Para carga térmica, são modelados sistemas de refrigeração nos APPs avaliados. Para tanto, foi utilizado um sistema de cálculo de carga térmica de refrigeração considerado ideal com temperatura de *setpoint* de refrigeração igual a 23 °C e com acionamento do sistema apenas quando o APP estivesse ocupado como recomenda a norma. Além disso, para o cálculo do somatório anual dos valores de carga térmica de refrigeração do APP ($CgTRAPP$), o novo procedimento afirma que é necessário considerar os valores de carga apenas nos instantes em que a temperatura operativa do APP, do modelo na condição

de ventilação natural, encontra-se dentro dos limites de temperaturas operativas preestabelecidas. Isto é, quando a temperatura operativa do APP for maior ou igual a 28 °C.

Para a determinação do $\Delta PHFT_{\min}$ e $RedCgTT_{\min}$, faz-se necessário calcular a razão entre carga térmica total da UH de referência e o somatório das áreas de piso dos APPs da UH (Ap,UH). Os resultados das cargas térmicas e da taxa entre a carga térmica do modelo de referência e a área dos APP obtidos das simulações são mostrados na Figura 7.

Figura 7 – Carga térmica total dos modelos e carga térmica pela área total do APPs.



Fonte: Autores.

Para as situações em que $PHFT_{UH,ref}$ é inferior a 70%, como foi calculado para o modelo de referência (32%), e razão entre $CgTT_{UH,ref}$ e Ap,UH superior a 100 kWh/m², o $\Delta PHFT_{\min}$, que deve ser usado como referência para verificar a satisfação ao nível intermediário, é calculado pela equação dada na norma, ou seja, $\Delta PHFT_{\min} = 45 - 0,58 \cdot PHFT_{UH,ref}$. Aplicando o valor do percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa na fórmula, determina-se que o $\Delta PHFT_{\min}$ é de 26,6%. Nesse sentido, percebe-se que o $\Delta PHFT$ dos modelos avaliados ($MReal1 = 33,8\%$ e $MReal2 = 27,9\%$) são superiores ao $\Delta PHFT_{\min}$, logo, o presente critério é satisfeito. No que diz respeito à redução de carga térmica, para o nível intermediário, a norma determina que a redução mínima de carga térmica $RedCgTT_{\min}$ é igual zero, ou seja, não é necessário ter incrementos para atingir tal nível. Diante do exposto, afirma-se que o desempenho térmico intermediário foi satisfeito.

Por sua vez, para atingir o nível superior, é necessário superar a $RedCgTT_{\min}$ de 55%, calculada do modelo avaliado em relação ao de referência. O MReal1, com $RedCgTT$ igual a 55,8% em relação ao modelo de referência, atinge o nível de desempenho térmico superior, com o quarto 1 sendo o APP que terá a menor necessidade de uso de ar-condicionado. Por sua vez, o MReal2, com $RedCgTT$ igual a 46,8%, consegue satisfazer apenas o desempenho térmico intermediário. Diante do exposto, confirma-se que, apesar do SVVE feito de concreto armado moldado *in loco* não ter valor de transmitância térmica dentro dos intervalos estabelecidos por normas para a ZB-7, ele poderá ser utilizado juntamente com outras estratégias, como a pintura do telhado de branco, e proporcionar um desempenho térmico elevado para a habitação. Sem essa alteração, a habitação avaliada conseguiria satisfazer o desempenho térmico intermediário (MReal 2).

5. Considerações Finais

O sistema de vedações verticais constituídos de concreto armado moldado *in loco*, isoladamente, continua sendo avaliado como inadequado para as bioclimáticas brasileiras tendo em vista o alto valor de transmitância térmica que possuem. Tal fato deve-se a manutenção dos mesmos limites de transmitância térmica na nova versão da norma.

Devido às condições impostas pelo texto da emenda nº 1 da NBR 15.575/2021, haverá sempre a necessidade de

avaliar, pelo método de simulação computacional, as edificações que forem construídas utilizando o SVVE de concreto armado moldado no local, para que se possa verificar o impacto de todas as propriedades do projeto (geometria, materiais, sombreamento, etc.) sobre o desempenho térmico da unidade habitacional.

Além do SVVE, o percentual de elementos transparentes e de área para ventilação do modelo do estudo de caso indicou também a necessidade de realizar avaliação da unidade habitacional pelo procedimento de simulação para identificar qual o nível de desempenho térmico que o projeto atingirá, tendo em vista que ele não atende ao limite presente no método simplificado. Acrescenta-se que, através desse procedimento, pôde-se perceber que dois ambientes de permanência prolongada em específico (quarto 2 e sala) não teriam boas condições de temperatura operativa visto que eles, além de não atenderem a critério da transmitância térmica para SVVE, não têm percentuais de ventilação ou de elementos transparentes adequados em comparação ao quarto 1. Isso ficou também comprovado com os resultados da simulação computacional.

Ao aplicar o segundo método, foi possível concluir que o modelo, mesmo não satisfazendo o desempenho térmico mínimo na avaliação pelo procedimento simplificado, o desempenho térmico intermediário poderá ser atingido. E, alterando a cor do telhado, seu desempenho poderá ser melhorado para o nível superior. Esse fato deixa evidente o impacto da absorvância na avaliação do desempenho térmico da edificação. Ademais, ressalta-se que as pesquisas considerando o modelo apresentado neste trabalho devem continuar. Na próxima etapa, a edificação deverá ser avaliada quanto ao atendimento do conforto térmico pela norma da ASHRAE 55. Além disso, serão feitas alterações no modelo para verificar como o projeto se comportará tanto em termos de desempenho térmico quanto no conforto térmico. Fica como sugestão para trabalhos futuros a realização da avaliação do desempenho térmico do projeto/sistema construtivo em outras zonas bioclimáticas do Brasil.

Referências

- ASHRAE (2014). *Standard 140-2014: Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs*. Atlanta.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005). *NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2021). *Ementa nº 1 da NBR 15.575-1: Desempenho - Parte 1: requisitos gerais*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (20021). *Ementa nº 1 da NBR 15.575-4: Desempenho - Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2021). *Ementa nº 1 da NBR 15.575-5: Desempenho - Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas*. Rio de Janeiro.
- Batista, J. O (2020). *Zona Bioclimática 07: sua importância, aplicação e regulamentação em projetos de HIS*.
- Braga, N. K. M (2018). *Potencial de aquecimento global de paredes de concreto a partir da avaliação do ciclo de vida*. [Dissertação de Mestrado, Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília] Brasília.
- Carvalho, P. P. (2012). *Desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social com paredes de concreto armado na zona bioclimática 2 brasileira*. [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria], Santa Maria.
- Crawley, D. B., & Lawrie, L. K (2022). *Climate One Building*.
- Fonseca, J. J. S (2002). *Metodologia da Pesquisa Científica*. UEC.
- Gil, A. C (2002). *Como elaborar projetos de pesquisa*. São Paulo: Atlas.
- Ibracon (2018). *Sistemas construtivos paredes de concreto, alvenaria estrutural e pré-fabricados de concreto*. *Concreto e Construção*.
- INMET (2011). *Normais Climatológicas do Brasil 1981 – 2010*.
- Lakatos, E. M., & Marconi, M. D (2003). *Fundamentos de metodologia científica*. (5ª. ed.) Atlas.
- Lamberts, R., Dutra, L., & Pereira, F. O. R. (2014). *Eficiência Energética na Arquitetura*.
- Marques, T. H. T., & Chvatal, K. M. S. A. (2013). *Review of the Brazilian NBR15575 Norm: applying the simulation and simplified methods for evaluating a social house thermal performance*. *4th Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design*, San Diego.

- Mendes, M. C. M., Fabricio, M. M., & Imai, C (2017). *Sistemas Construtivos Inovadores no Contexto do SINAT: Normativas, Produção e Aplicações de Painéis de Vedação*. In: Márcio Minto Fabricio; Adriana C. Brito; Fúlvio Vittorino. (Org.). Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras: Conforto Ambiental, Durabilidade e Pós-Ocupação. Porto Alegre, 169-193.
- Moraga, G. L (2017). *Avaliação do Ciclo de Vida e simulação termoenergética em unidade habitacional unifamiliar do Programa Minha Casa Minha Vida*. [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul], Porto Alegre.
- Morishita, C., Sorgato, M. J., Versage, R., Triana, M. A., Morinoski, D. L., & Lamberts, R. (2011). Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes e Coberturas. *Laboratório em Edificações do Departamento de Engenharia Civil da UFSC*. Florianópolis.
- Oliveira, R. B., & Alves, C. R (2016). Análise do desempenho térmico de habitação de interesse social com paredes de concreto em Uberlândia-MG. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, 12 (1), Campinas.
- Oliveira, R. D., Souza, R. V. G., Mairink, A. J. M., Rizzi, T. G., & Silva, R. M. (2015). Thermal Comfort for users according to the Brazilian Housing Buildings Performance Standards. *Energy Procedia*, 78 (1), 2923 – 2928.
- Parahyba, R. B. V., Silva, F. H. B., Silva, F. B. R., & Lopes, P. R. C. (2004). Diagnóstico Agroambiental do Município de Paulo Afonso – Estado da Bahia. Rio de Janeiro.
- Pereira, C. D. A (2009). *Influência do envelope no desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ocupadas e ventiladas naturalmente*. [Dissertação de Mestrado, Universidade de Santa Catarina], Santa Catarina.
- Santos, M. B., & Gouveia, F. P (2018). Análise do desempenho térmico de habitações de interesse social construídas em paredes de concreto: Um estudo de caso em Tucuruí – PA. *Revista de Engenharia Civil*, 18 (55), 5 – 18.
- Secretaria De Planejamento, Ciência e Tecnologia da Bahia (1998). *Mapa de Tipologia Climática Köppen: Estado da Bahia*. Salvador.
- Sorgato, M. J., Melo, A. P., & Lamberts, R (2014). Análise do método de simulação de desempenho térmico da norma NBR 15.575. *Paranoá (UnB)*, 12 (1), 13-21.
- Sorgato, M. J., Melo, A. P., Marinoski, D. L., & Lamberts, R. (2012). Análise do procedimento de simulação da NBR 15575 para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, 14 (4), 83-101.
- Weber, F. S., Melo, A. P., Marinoski, D. L., Guths, S., & Lamberts, R. (2017). *Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus*. Laboratório em Edificações do Departamento de Engenharia Civil da UFSC. Florianópolis.